

전자유압식 CVT의 운용 및 제어 소프트웨어 개발과 실시간 제어

Development of an Operation and Control Software for Electro-Hydraulic CVT and Real Time Control

권혁빈*, 김광원*, 김현수**, 은탁***, 박찬일****
 H. B. Kwan, K. W. Kim, H. S. Kim, T. Eun, C. I. Park

ABSTRACT

In CVT vehicle, the engine speed is completely decoupled from the vehicle speed within the range from maximum transmission ratio to minimum transmission ratio. This allows the engine to operate in optimal state(e.g. best fuel economy or maximum power mode). In this study, the CVT control algorithm for optimal operation of engine is suggested. In order to implement the real time digital control of electro-hydraulic CVT system, a software called CVTCON has been developed. CVTCON also includes the CVT operation program. This operation and control software, CVTCON is composed of (1) CVT system operation module, (2) system test module, (3) system control module and (4) data management module. By using the CVTCON and the electro-hydraulic CVT system, two modes of experiments were carried out : constant throttle opening mode and acceleration mode. From the experimental results, it was found that the algorithm suggested in this study showed optimal operation of the CVT system.

주요기술용어 : CVT(Continuously Variable Transmission), OOL(Optimal operation Line), TCU(Transmission Control Unit), Optimal Operation

기 호 설 명

F_N	: 종동(2차) 축력	OOL	: 최적 운전 곡선
F_R	: 구동(1차) 축력	T_e	: 엔진 토크
i	: 변속비	$T_{e,op}$: 최적 엔진 토크
i_d	: 요구되는 기준 변속비	T_{load}	: 주행 저항
		$T_{L,d}$: 요구되는 기준 주행저항

* 성균관대학교 대학원
 ** 정회원, 성균관대학교 기계공학과
 *** 생산기술연구원
 **** 현대자동차

Greek letter

- ω_e : 엔진 회전수
- ω_{ed} : 요구되는 기준 회전수
- $\omega_{e,op}$: 최적 엔진 회전수
- ω_v : 차속

1. 서 론

1950년대에 CVT의 프로토타입이 개발된 이래 체인, 금속벨트와 같은 기계요소의 발달과 유압 제어 기술의 향상 등에 힘입어 CVT에 관한 기술은 꾸준히 발전되어 왔다. 또한 두 차례에 유류과동으로 인한 에너지 절약문제와 점차 고조되고 있는 환경오염문제에 대한 관심은 CVT 기술 발전을 더욱 가속시키고 있다.^{1~3)}

엔진의 회전속도는 변속비의 조정이 가능한 범위 즉 CVT의 최저변속비와 최대변속비 사이에서 차량의 속도와 전혀 무관하다. 이와같은 사실은 엔진의 운전상태가 차량의 속도에 관계없이 다음과 같은 상태로 유지될 수 있음을 말한다.¹⁾

- 최저 연료 소모 상태
- 최저 오염물질 배출 상태
- 최저 소음 상태

CVT 차량에서는 변속비의 자동조정이라는 잇점 이외에도 다음과 같은 몇 가지의 유리한 점이 더 있다.

- 엔진의 모든 운전점에서 매우 짧은 순간에 최대 동력상태 또는 최소연료소모상태로 제어될 수 있다.
- 광역 변속비를 사용하여 가속 성능을 향상시킬 수 있다.^{3,4)}
- 변속비의 변화 도중 차량의 추진력이 단속되지 않는다.

이와같은 CVT의 장점은 CVT의 변속비가 엔진의 최적인전이 가능하도록 제어될 때에만 얻을 수 있다. 따라서 CVT 변속비의 제어기술 개발은 CVT 설계개발을 위한 핵심적 연구과제중 하나라고 할 수 있다. 일본 및 구미 각국의 여러 자동차회사는 고유의 CVT 제어 기술을 확보하

고 경쟁성 있는 완성품 개발에 총력을 기울이고 있다. 그러나 차세대 차량용 변속기라는 CVT의 잠재적 가능성 때문에 CVT 차량을 개발한 각 회사 및 연구기관들은 핵심적 연구결과를 거의 발표하지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 CVT 개발을 위한 국내 기술의 축적을 위하여 다음의 두 가지 연구목적을 달성하려 한다.

- (1) CVT의 변속비 제어를 통하여 엔진의 운전상태가 항상 최적인전곡선을 따라 운전될 수 있도록 하기위한 CVT의 변속비 제어 알고리즘을 제안하며, 제안된 알고리즘을 컴퓨터 프로그램화하여 초보단계의 CVT용 TCU(Transmission Control Unit) 소프트웨어를 개발한다. 또한 개발된 소프트웨어를 전자유압제어식 리그(Rig)형 CVT 시스템에 적용하여 제어성능을 평가한다.
- (2) 전자유압제어식 리그형 CVT 시스템은 모든 부분이 컴퓨터와 연결되어 있으므로 이 시스템의 운용을 용이하게 수행하기 위한 소프트웨어를 설계한다.

2. 제어 알고리즘

2.1 CVT 전체시스템의 제어

CVT 제어기의 기능은 차량의 주행조건이 변하더라도 엔진이 최고연비(best fuel economy) 또는 최대동력(maximum power)운전을 할 수 있는 최적인전곡선(OOL: Optimum operating line)을 따라 운전되도록 CVT 변속비를 적절히 제어하는 것이다. 이때 주행조건을 변화시키는 변수는 드로틀(Throttle) 개도와 주행저항으로 대표되어 진다.

Fig. 1의 화살표 a와 b는 각각 주행저항과 드로틀 개도가 증가한 경우에 대항 엔진 운전상태를 도시한 것이다. 화살표 a에서 볼 수 있듯이 드로틀이 고정된 상태에서 주행저항이 증가하면 엔진의 운전상태는 출력토크와 회전속도가 감소하는 방향으로 이동하여 최적인전곡선을 벗어나게 된다. 여기서 최적인전곡선은 최고연비

또는 최대동력선도중 임의의 최적인전상태를 도시한 것이다. 이때 CVT의 변속비를 크게해주면 크랭크축에 작용하는 부하토크는 작아지며, 엔진의 상태는 출력토크와 회전속도가 증가하는 방향(원래의 위치)으로 옮겨간다.

Fig. 1의 화살표 b에서와 같이 드로를 개도가 A에서 B로 증가한 경우의 엔진 운전상태는 토크는 급격히 증가하고 엔진 회전속도는 차량의 관성 때문에 서서히 증가하게 된다. 이 때 변속비의 변화가 없다면 회전속도는 증가된 드로를 개도에 대한 최적인전점인 B점을 지나 증가된 토크와 주행저항이 평형을 이룰 때까지 계속 증가할 것이다. 따라서 CVT의 변속비를 변화시켜 엔진의 운전상태가 새로운 정상상태인 B점에 머물러 있도록 제어하여야 한다. 또한 드로를 개도가 변화하는 과도상태에도 엔진의 운전상태가 최적인전곡선을 따라 이동한다면 차량은 운전자가 의도하는 최적 운전상태를 유지할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 전자유압식 CVT 시스템을 제어하여 위와 같은 최적인전을 수행하고자 한다. CVT 테스트 리그에서는 엔진을 대신하여 스핀들모터를 사용한다. 따라서 모터특성을 고려한 최적인전곡선의 설정이 필요하다.

Fig. 2의 화살표 c와 d는 각각 스핀들모터 구동 CVT 시스템에서 주행저항이 증가한 경우와 드로틀이 증가한 경우에 해당하는 모터의 운전상태를 도시한 것이다.

Fig. 2의 화살표 c의 경우를 Fig. 1의 화살표 a의 경우와 비교하여 살펴보기로 한다. 드로틀이 고정된 상태에서 주행저항이 증가할 때 엔진의 경우(화살표 a) 주어진 드로틀에 대한 최대동력보다 작은 동력을 발생하게 되고, 모터의 경우(화살표 c) 주어진 드로틀(인버터 입력 전압)에 대하여 설정한 최적동력보다 더 큰 동력을 발생하게 된다. 전자의 경우 CVT 제어기는 엔진의 회전속도가 줄어드는 양을 검출하여 운전상태 변화를 감지하고, 후자의 경우에는 모터토크의 증가량을 검출하여 운전상태 변화를 감지한다. CVT 제어기는 이와같은 방법으로 감지된 운전상태의 최적인점 이탈을 변속비 제어으로써 최적인

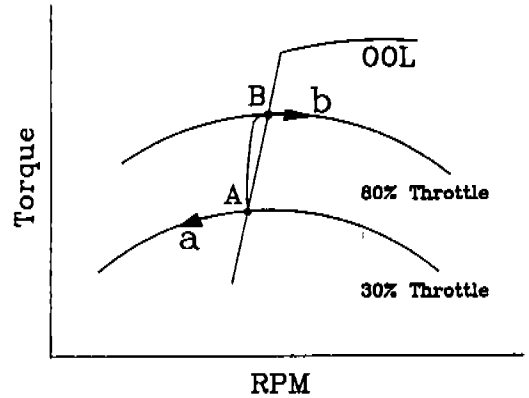


Fig.1 Optional operation line of an engine

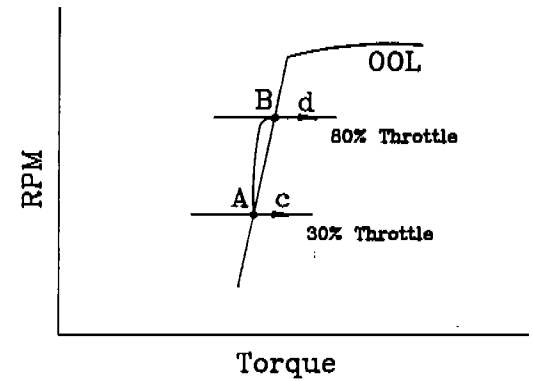


Fig.2 Optional operation line of a spindle motor

으로 복귀시킨다.

Fig. 2의 화살표 d는 드로를 증가에 해당하는 경우로서 엔진의 경우 드로틀 각도를 직접 검출하여 드로틀의 변화를 알 수 있고, CVT 테스트 리그의 경우 인버터 입력 전압 변화가 드로틀 각도 변화에 해당하므로 드로틀의 변화를 직접적으로 측정할 수 없다. 그러나 모터의 회전속도는 인버터 입력 전압 신호를 거의 지연됨이 없이 쫓아가므로 모터의 회전속도 변화를 드로틀 각도의 변화로 보아도 무방하다. 그리고 증가된 드로틀에 대한 최적인전점을 찾아 가는 것은 Fig. 2의 화살표 c의 설명과 동일한 과정이다.

이상에서 설명한 엔진과 모터는 운전상태 변화를 감지하는 물리량과 드로틀 각도변화를 측정하는 방법이 다를 뿐 변속비 제어의 기본 알

고리좁은 동일하다.

Fig. 3에 CVT 테스트 리그 전체 시스템의 제어 블록 선도가 도시되어 있다. 엔진 모사 장치 (Engine Simulator)는 최적운전곡선으로부터 신호를 받아 구동되고, CVT 변속비 제어 시스템 (CVT Ratio Control System)은 최적운전곡선으로부터 현재의 드로틀에 대한 최적 엔진토크를 전달받고, 엔진 모사 장치로부터 실제 엔진토크를 측정하여 두 값의 차이에 따라 구동축 축력을 변화시킨다. 이때 F_N 제어기(F_N Controller)는 중동축 축력을 11000 N으로 일정하게 제어하고 있으므로 구동축 축력의 변화에 따라 변속비가 변하게 된다. 변속비는 구동(Primary) 및 종동(Secondary)축력을 각각 변화시켜 제어할 수 있지만 중동축력을 일정하게 유지하고 구동축력만을 변화시켜 변속비를 제어함으로써 제어 변수를 1개 줄일 수 있다는 장점이 있다.⁹⁾ 변속비가 최적값이 되는 순간 최적운전곡선으로부터 전달 받은 엔진토크와 엔진 모사 장치의 실제 엔진토크의 크기가 같아진다. 따라서 엔진 모사 장치는 최적운전상태로 운전된다. 위와 같은 제어가 반복되는 동안 CVT 시스템에 주행저항 모사 장치(Load Simulator)로부터 주행저항이 가해진다.

2.2 CVT 제어

Fig. 4에 CVT의 변속비 제어 블록선도가 도시되어 있다. Desired CVT Ratio Generator는 최적운전곡선으로부터 최적 엔진토크를 전달받고 Load Map Estimator로부터 부하토크를 전달받아 최적 변속비를 계산한다. CVT Ratio Servo는 최적 변속비와 실제 변속비의 차이를 줄이기 위한 전자-유압 서보(Electro-Hydraulic Servo)의 입력 신호를 계산한다. 전자 유압 서보는 축력공급 시스템을 제어하여 CVT에 해당 축력을 공급하고, 새로이 형성된 변속비는 다시 피드백된다. 이와같은 과정의 반복을 통하여 CVT의 변속비가 제어된다.

2.3 주행저항 모사 장치의 제어 알고리즘

주행저항 모사 장치는 CVT 시스템에 실제

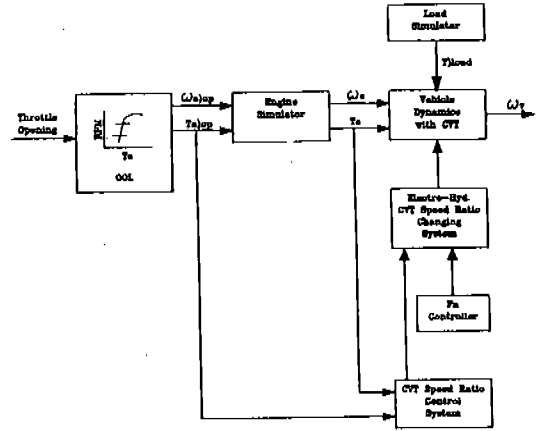


Fig.3 Overall control block diagram of CVT system

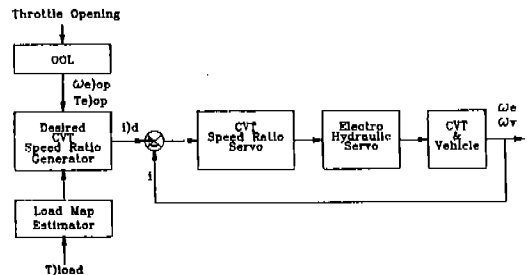


Fig.4 Block diagram of CVT controller

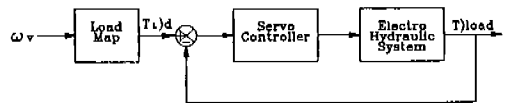


Fig.5 Block diagram of load simulator

차량의 주행저항에 해당하는 부하 토크를 가하기 위한 장치로서, 현재의 출력 회전수에 따라 미리 주어진 임의의 로드 선도(Load Map)로부터 토크 레퍼런스(Torque reference)를 결정하여 중동축에 해당 부하 토크가 작용하도록 하는 제어 시스템으로 구성되어 있다. 주행환경의 변화에 의한 주행저항의 급격한 변화 역시 주행저항 모사 장치로 구현할 수 있다.

주행저항 모사 장치의 제어 블록선도는 Fig. 5와 같다. 블록 선도에서 보는 바와 같이 주행저항 모사 장치는 로드 선도의 부하토크 신호를

전달 받아 유압시스템의 유체에너지로 부하토크를 생성한다. 생성된 실제 부하토크는 피드백되어 로드 선도의 부하토크 신호와 비교되어 오차가 계산되며, 이 오차는 서보 컨트롤러(Servo Controller)에 입력되고, 서보 컨트롤러는 전자유압 시스템을 제어한다. 이상의 과정을 반복하여 로드 선도의 주행저항을 구현한다.

2.4 엔진 모사 장치 제어 알고리즘

엔진 모사 장치는 스피들 모터와 인버터 및 제어 소프트웨어로 구성된 시스템으로서, CVT 테스트 리그에서 엔진의 역할을 대신한다. 인버터는 모터의 부하토크가 변하더라도 모터가 항상 일정한 회전속도를 유지하도록 제어한다. 인버터가 모터의 회전속도를 제어하는 성능은 대단히 우수하여 모터제어를 위한 새로운 제어기의 설계는 필요없다. 따라서 엔진 모사 장치의 제어 블록 선도는 Fig. 6과 같이 구성할 수 있다. 엔진 특성곡선(Engine Map)은 드로틀 개도(Throttle Opening)에 해당하는 모터 회전속도를 계산하고, Required Motor Input Generator는 계산된 회전속도에 해당하는 인버터 입력 전압을 계산하여 인버터에 입력시킨다. 인버터는 모터가 입력 받은 전압에 상당하는 회전속도를 내도록 제어한다.

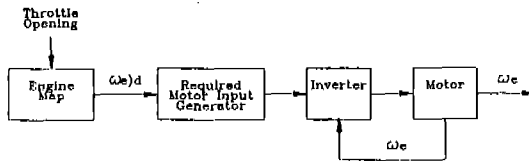


Fig.6 Block diagram of engine simulator

3. CVT 시스템 운용 및 제어 소프트웨어 설계

CVT 시스템은 기능에 따라 다음과 같은 부분들로 나눌 수 있다. (1) 본 시스템의 가장 핵심 부분인 CVT 본체와 엔진의 역할을 대신하는 스피들 모터(Spindle Motor)로 구성되는 CVT 시스템, (2) CVT에 변속비 제어를 위한 축력을

공급하는 전자유압식 축력 공급 장치와 CVT 시스템에 회전부하를 공급하는 전자유압식 부하공급장치로 구성된 전자-유압 시스템(Electro-Hydraulic System), (3) CVT 시스템의 주요 신호를 검출하는 센서 시스템, (4) 이와같은 장치들을 컴퓨터에 연결시키기 위한 컨트롤 박스(Control Box)-컨트롤 박스는 본 시스템의 수동 조작도 가능하게 한다. 이외에도 IBM 386 호환 컴퓨터와 A/D 및 D/A 변환기로 구성된 컴퓨터 시스템이 있다.

모든 시스템은 컴퓨터와 연결되어 컴퓨터로부터 작동지령을 받고, 컴퓨터에 의하여 적절히 제어되며, 모든 데이터는 컴퓨터로 보내져 필요한 처리를 받도록 되어 있다. 이와같은 시스템 간의 유기적 관계가 Fig. 7에 자세히 도시되어 있다. Fig. 7의 각 장치별 기능 및 컴퓨터와의 연결 상태는 다음과 같다.

CVT 본체 부분(CVT System)에는 CVT의 동적거동 상태를 파악하기 위하여 7개의 센서가 부착되어 있다. 즉 구동 및 종동축 축력을 위한 로드 셀(Load Cell) 1과 로드 셀 2, 벨트의 장력을 측정하기 위한 로드 셀 3, 그리고 구동 및 종동축의 토크를 측정하기 위한 토크 센서 1과 토크 센서 2, 각 축의 회전속도를 측정하기 위한 엔코더(Encoder) 1과 엔코더 2가 그것 들이다. 각 로드 셀은 컨트롤 박스의 로드셀 지시기(Indicator)를 통하여 A/D 변환기와 연결되며, 토크센서는 스트레인 앰프(Strain Amplifier)를 통하여 A/D 변환기와 연결되어 있다. 엔코더의 펄스(Pulse)신호는 F/V 변환기를 통하여 전압으로 바뀌어 A/D 변환기로 보내진다. A/D 변환기는 각센서의 아나로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 컴퓨터로 입력한다.

전자 유압식 축력공급 장치의 압력제어부는 2개의 비례감압 밸브(Proportional Pressure Reducing Valve)와 이 밸브를 제어하는 2개의 서보앰프(Servo Amp 1, Servo Amp 2)로 구성되어 각각 구동 및 종동축 축력을 형성하며, 이 서보앰프는 D/A 변환기를 통하여 컴퓨터로부터 제어신호를 받는다. 제어된 압력은 실린더를 통하여 CVT 시스템에 작용하는 축력으로 변화되며,

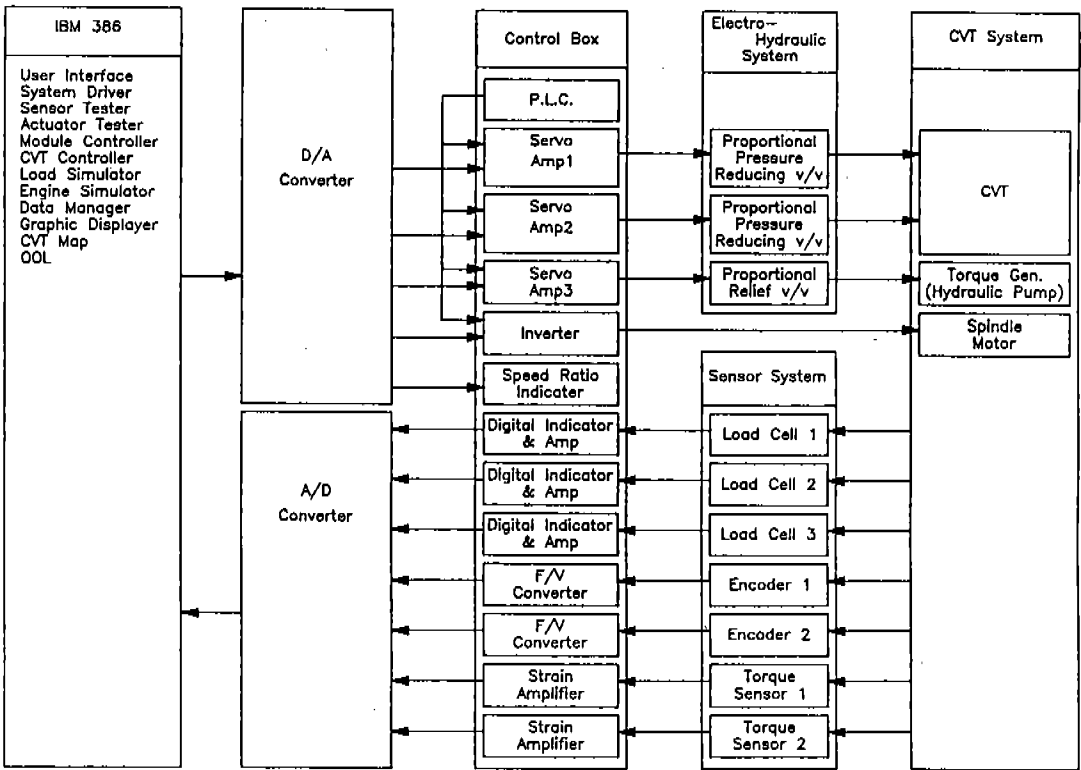


Fig.7 CVT test rig system

이 축력은 위에서 설명한 로드 셀 1과 2를 통하여 측정되어 컴퓨터로 피드백 된다. 따라서 하나의 페루프가 형성되어 피드백제어를 가능하게 한다.

전자 유압식 부하 공급장치는 비례 릴리프 밸브(Proportional Relief Valve)와 서보앰프 3으로 압력을 제어한다. 이 서보앰프는 축력공급장치의 서보앰프와 같은 방법으로 컴퓨터에 연결되어 컴퓨터에 의하여 압력이 제어되도록 되어 있다. 제어된 압력은 유압펌프(Hydraulic Pump)를 통하여 중동축 토크로 변환되며 중동축 토크 센서에 의하여 컴퓨터로 피드백되므로 또 하나의 페루프를 형성한다.

스핀들 모터는 인버터에 의하여 항상 주어진 입력 전압에 해당하는 회전속도를 내도록 제어되며, 인버터는 컴퓨터로부터 D/A 변화기를 통하여 0~10Volt의 전압값으로 회전속도 신호를 받는다. 모터의 회전속도는 구동축 속도 센서인 엔코더 1을 통하여 측정되고 컴퓨터로 피드백되므로 역시 페루프를 형성한다.

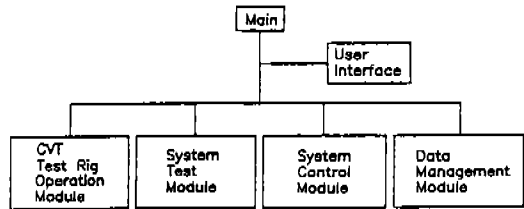


Fig.8 Module diagram of overall software

이상에서 살펴본 바와 같이 CVT 테스트 리그의 모든 부분은 컴퓨터와 연결되어 있다. 따라서 이 시스템은 부분별 작동 상태의 점검에서부터 전체 시스템의 작동과 제어, 각종 신호의 획득 및 평가 분석을 컴퓨터 프로그램에 의존한다. Fig. 8~Fig. 12는 이상의 기능을 수행하기 위하여 본 연구에서 설계한 프로그램의 모듈을 선도이다.

Fig 8에 도시된 바와 같이 본 프로그램은 크게 4가지 모듈을 갖도록 설계되었다. 다음 절에 각 모듈의 기능을 설명하였다.

3.1 CVT 시험 리그 운전 모듈(CVT Test Rig Operation Module)

이 모듈은 Fig. 9와 같은 부 모듈들로 구성되며, 주요 기능은 다음과 같다.

- (1) 정지 상태의 CVT 테스트 리그를 시동하여 실험가능한 상태가 되도록 하며, 특히 이때 부적당한 작동 순서로 인하여 시스템이 오동작을 일으키지 않도록 작동 순서를 제어하고, 급격한 가속으로 인하여 장치에 무리가 발생하지 않도록 가속속도를 조절한다.
- (2) CVT 테스트 리그의 운전 상태를 유지시켜준다.
- (3) 운전 중인 CVT 테스트 리그를 정지시키고, 이 때 오동작을 방지하며, 감속속도를 제어한다.

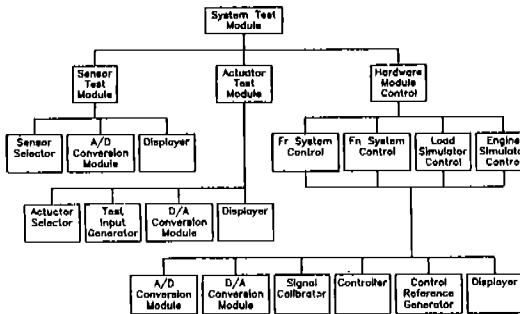


Fig.9 Module diagram of CVT test rig operation software

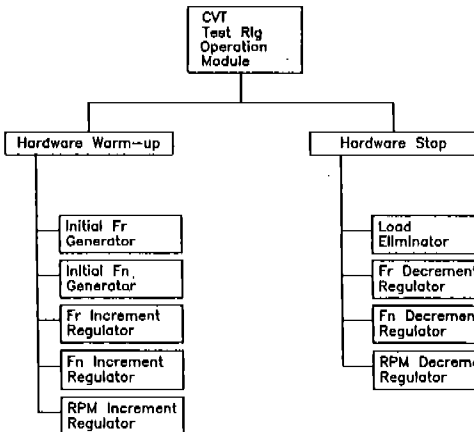


Fig.10 Module diagram of system test software

3.2 시스템 테스트 모듈(System Test Module)

이 모듈은 Fig. 10과 같은 부 모듈들로 구성되며, 다음과 같은 기능을 수행한다.

- (1) 시스템에 설치되어 있는 7개의 센서(엔코더 2개, 로드 셀 3개, 토크 센서 2개)가 정상적으로 작동하는지를 검사한다.
- (2) 4개의 액츄에이터(스핀들 모터, 유압 실린더 2개, 회전부하 공급장치)의 작동상태를 검사한다.
- (3) CVT 테스트 리그 시스템을 구성하는 4개의 페루프 또는 개루프 제어 시스템(구동축 축력 제어 시스템, 종동축 축력 제어 시스템, 엔진 모사 장치, 주행저항 모사장치)을 개별적으로 제어할 수 있다.

3.3 CVT 시스템 제어(CVT System Control) 기능

이 기능은 본 소프트웨어의 중추적 기능이라 할 수 있다. 엔진 모사 시스템과 주행저항 모사 시스템을 통합 제어하여 CVT의 성능시험에 필요한 각종 주행환경을 만들어 내며, 시험자가 원하는 주행저항의 변화와 드로틀 개도의 변화를 일으켜 변속비 변화 요인을 발생시킨다.

변속비 변화 요인이 발생하면 CVT의 변속비 제어 알고리즘이 동작하여 CVT의 변속비를 제어하며 차량이 항상 최적 운전상태를 유지할 수 있도록 한다. 즉 이 기능은 실제 차량의 TCU (Transmission Control Unit) 역할을 한다.

Fig. 11은 본 기능을 수행하기 위한 부 모듈들의 구성도이다.

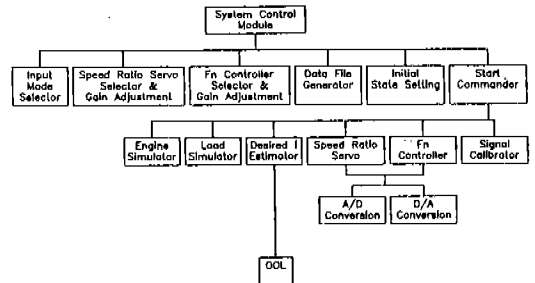


Fig.11 Module diagram of CVT system control software

3.4 데이터 관리(Data Management) 기능

각 기능의 실행을 통하여 생성된 데이터를 저장하고 평가 분석하는 기능이다. 이 기능은 데이터 파일(Data File)을 읽어 필요한 선도를 제공한다. Fig. 12는 본 기능 수행을 위한 부모 모듈을 선도이다.

3.5 사용자 인터페이스의 설계

본 소프트웨어는 사용자의 편의를 위하여 풀다운 메뉴방식으로 설계하였다. Fig. 13은 메뉴중 일부를 도시한 것이다.

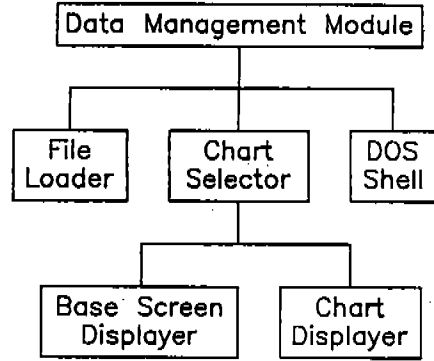


Fig.12 Module diagram of data management software

4. 실험장치

Fig. 14에 본 연구에 사용된 실험장치가 도시되어 있다. 실험장치의 작동원리는 다음과 같다.

CVT 시스템의 동력은 15KW급 스핀들 모터 ①에서 공급된다. 스핀들 모터의 속도는 컴퓨터의 지령에 의해 인버터 ②로 제어된다. 스핀들 모터의 동력은 V-벨트 ③를 통하여 구동풀리 ⑤에 전달된다. 구동풀리의 동력은 금속 벨트 ⑭를 통하여 종동풀리 ⑬에 전달되며 부하공급 유압시스템에서 가해지는 부하와 균형을 이룬다. 구동 및 종동풀리는 각각 고정플랜지와 이동플랜지로 구성되어 있고 이동플랜지는 축방향 이동이 가능하고 동시에 토크를 전달할 수 있도록 스프라인 축으로 되어 있다.

무단변속은 금속벨트의 회전 피치직경을 연속적으로 변화시킴으로써 이루어진다. 변속비 제어는 이동플랜지의 축력을 조정함으로써 얻을 수 있으며 구동 및 종동축의 이동플랜지의 축력은 유압실린더 ⑥, ⑮에 의하여 공급된다. 본 실험에 사용된 유압실린더는 실린더와 피스톤의 마찰저항을 최소로 하기 위하여 특수 제작하였다. CVT 시스템에 가해지는 부하는 종동축과 타이밍벨트 ⑨로 연결된 축 ⑪에 부착된 기어 펌프 ⑧를 회전시킴으로써 얻어진다. 부하의 조정은 유압시스템에서 제어된다.

구동 및 종동축의 축간거리를 조정하고 금속벨트의 장력을 측정하기 위하여 종동축과 기어

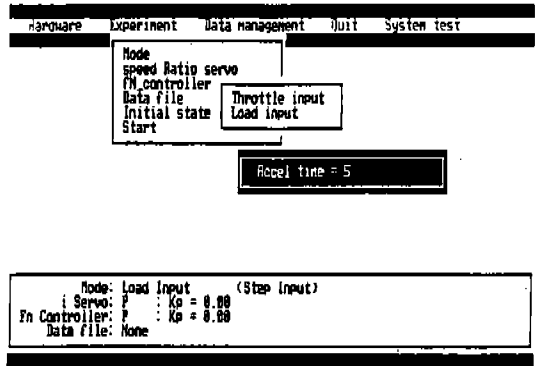


Fig.13 Menu screen of control mode

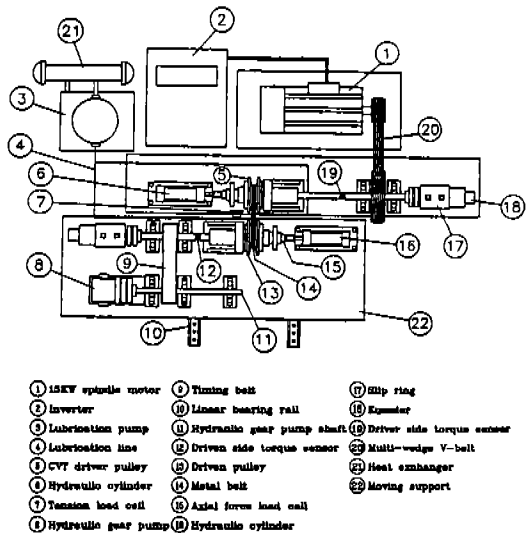


Fig.14 Schematic diagram of a CVT test rig

펌프축을 평판 ㉒에 설치하고 평판 밑에 선형베어링 ㉓을 장착하여 평판이 베어링 축을 따라 축직각 방향으로 이동이 가능하도록 하였다.

실험은 다음과 같은 두 가지 변속비 변화 요인을 발생시켜 각 경우에 대한 CVT 최적운전 제어 성능을 평가하는 방식으로 진행하였다.

- (1) 엔진 모사 장치의 드로틀이 고정된 상태에서 주행저항 모사 장치를 제어하여 주

행저항을 증가시킨 경우

- (2) 주행저항 모사 장치의 주행저항은 일정하도록 제어하고, 엔진 모사 장치의 드로틀 개도를 변화시킨 경우

5. 실험 결과

본 연구를 통하여 설계된 소프트웨어를 이용

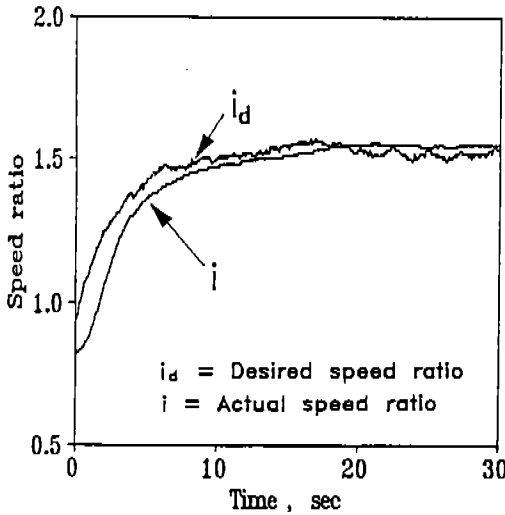


Fig.15 Desired speed ratio and actual speed ratio for load input

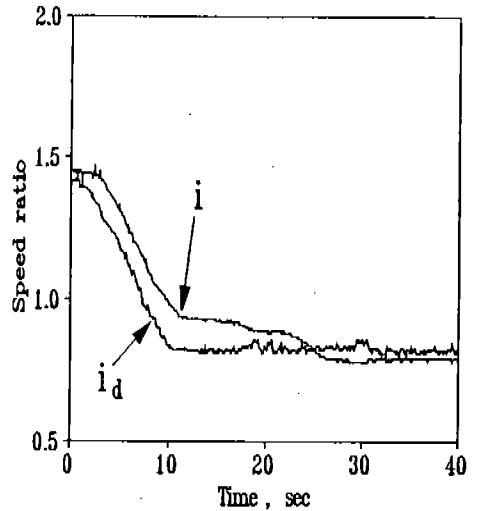


Fig.17 Desired speed ratio and actual speed ratio for acceleration input

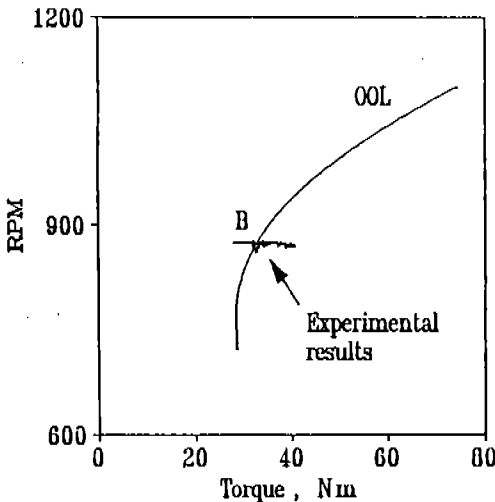


Fig.16 Comparison of experimental results with OOL for load input

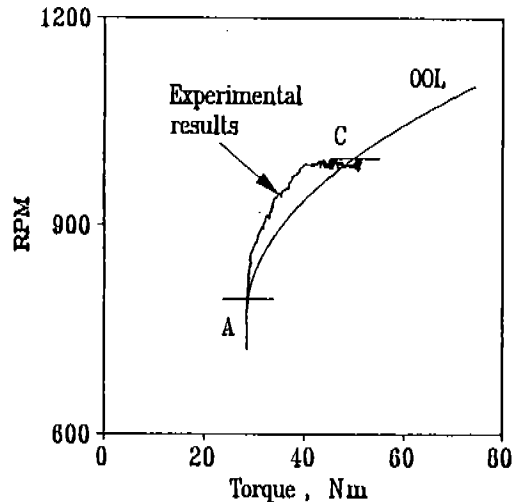


Fig.18 Comparison of experimental results with OOL for acceleration input

하여 전자유압제어 CVT 시스템의 성능시험을 수행한 결과가 Fig. 15~Fig. 18에 도시되어 있다. Fig. 15는 고정된 드로틀 개도에 대하여 주행저항이 증가된 경우의 변속비 변화를 도시한 것이다. 주행저항이 증가되면 Desired CVT Ratio Generator는 현재의 드로틀 개도에 대한 최적엔진토크와 증가된 주행저항 즉 중동축 토크의 비 $((T)_{load}/T_{e,op})$ 를 구하여 최적 변속비를 계산한다. 이때 $(T)_{load}/T_{e,op}$ 에서 $(T)_{load}$ 가 증가하였으므로 최적 변속비가 증가한다. Fig. 15는 최적변속비(i_d)가 증가함에 따라 CVT의 제어가 이루어져 실제 변속비가 최적변속비를 따라가는 것을 보여준다.

Fig. 16은 고정 드로틀 운전시 엔진 운전상태 변화와 최적인전곡선을 비교한 선도이다. 엔진 운전상태는 주어진 드로틀에 대한 최적인전점 B에서 잠시 벗어난 후 다시 B점으로 복귀함을 알 수 있다. 즉 주행저항의 변화에도 불구하고 엔진 모사 장치의 운전상태는 계속 최적인전상태를 유지한다.

Fig. 17은 드로틀 개도를 변화시킨 경우 변속비 응답을 도시한 것이다. Desired CVT Ratio Generator는 최적인전곡선으로부터 변화된 드로틀에 대한 최적 엔진속도와 최적토크를 전달 받아 새로운 최적 변속비를 계산한다. 증가된 드로틀 개도는 $T_{e,op}$ 을 증가시키므로 이 경우 최적변속비는 감소한다. 실제 변속비는 i_d 를 따라 감소한다.

드로틀 개도 변화 운전시 엔진의 운전상태 변화와 최적인전곡선을 비교한 선도가 Fig. 18에 도시되어 있다. 선도에 표시된 바와같이 엔진의 운전상태가 최초의 드로틀 개도에 대한 최적인전점인 A점에서 변화된 드로틀의 최적인전점인 C점으로 옮겨가 항상 최적인전상태를 유지한다.

이상의 두 실험 결과로부터 본 연구에서 제안된 CVT 제어 알고리즘이 주행저항이나 드로틀 개도의 변화에도 불구하고 엔진의 최적인전을 가능하게 함을 볼 수 있다. 엔진의 최적인전은 차량이 최고연비곡선(Best Fuel Economy Line) 또는 최대동력곡선(Maximum Power Line)을 따라 주행할 수 있다는 것을 의미하며 따라서 CVT의 변속비 제어는 차량의 연비 및 가속성

능의 획기적인 향상을 가능케 한다. 본 연구에서 제안된 제어 알고리즘은 이와같은 연비 및 성능향상을 위한 CVT용 TCU 개발의 설계 자료로 사용될 수 있다.

또한 본 연구에서 설계된 CVT 테스트 리그 운용 소프트웨어는 운전상태를 변화시키는 변수인 주행저항과 드로틀 개도의 변화를 모사하여 실험에 필요한 각종 주행환경을 제공하였다. 따라서 CVT 운용 소프트웨어는 CVT 개발을 위한 각종 실험의 운용 소프트웨어로 사용할 수 있다.

6. 결 론

전자유압제어식 CVT의 최적인전을 위하여 제어 알고리즘을 개발하고 제어 및 운용 소프트웨어를 설계하였다. 개발된 소프트웨어를 CVT 테스트 리그에 적용하여 성능평가 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구를 통하여 제안된 CVT 변속비 제어 알고리즘은 엔진의 운전상태를 변화시키는 주행저항의 증감이나 드로틀 개도의 변화에도 불구하고 항상 엔진의 최적인전을 가능하게 한다.
- (2) 위 제어 알고리즘의 구현을 위하여 제어 소프트웨어를 설계하였으며, 이 소프트웨어는 CVT 차량의 TCU 소프트웨어 설계를 위한 기초자료가 될 수 있다.
- (3) 개발된 CVT 테스트 리그 운용 소프트웨어는 차량의 실제 도로 주행상태를 모사하여 CVT 성능시험장치에 각종 주행환경을 제공할 수 있다. 따라서 CVT 개발을 위한 각종 실험의 운용 소프트웨어로 사용될 수 있다.

후 기

이 연구는 현대자동차(주)와 한국과학재단 지원 터보·동력기계연구센터의 지원을 받아 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G. Schönnebeck, "A few aspects on lubricant selection for stepless chain converters : efficiency and service life," 6th ASME International Power Transmission and Gearing Conference, Phoenix, Volume 2, pp.621~628, 1992.
2. J. Bart, W. Runge, "Continuously variable transmission KWG15," SAE 905087, 1990.
3. K. F. Schnelder, S. R. Anderson, "Multi-pass continuously variable transmission," SAE 90 5088, 1990.
4. B. R. Hohn, "Transmission engineering for passenger cars," International Conference on Motion and Power Transmissions, Hiroshima, pp.474~479, 1991.
5. B. C. Christenson, A. A. Frank, N. H. Beachley, "The fuel-saving potential of cars with continuously variable transmissions and an optimal control algorithm," ASME, 1976.
6. C. Chan, T. Omitsu, D. Breitweiser, A. Frank, F. S. Jamzadeh, "System design and control consideration of automotive continuously variable transmissions," SAE 840048, 1984.
7. G. L. Kinzel, K. Srinivasan, D. R. Houser, D. L. Mattern, "Microprocessor controlled continuously variable rubber V-belt transmission for an automobile," Passenger Car Meeting, SAE 820745, pp.137~145, 1982.
8. D. Yang and A. Frank, "On the use of engine modulation for deceleration control of continuously variable transmission vehicles," SAE 850490, 1985.
9. 김광원, 권혁빈, 김현수, 은탁, 박찬일, "전자 유압식 리그형 CVT 개발과 최적운전," 대한 기계학회 추계학술대회 논문집, 1992.